

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ПИТАНИИ СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ

*Б.Д. Ефремов, д.т.н., проф.*

*Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ)*

*Д.М. Рок, ведущий инженер*

*ООО «Абит», Санкт-Петербург*

Разработаны система и алгоритм управления бензиновым двигателем при переходе на питание сжиженным газом. Система работает по принципу «проставки» и позволяет сохранить и использовать штатную систему управления двигателем (при работе на бензине) и вводить необходимые корректировки в алгоритм управления при переходе на питание сжиженным газом.

Системы управления двигателями (СУД) современных бензиновых автомобилей отличаются повышенной сложностью алгоритмов. Блок управления двигателем (БУ) осуществляет постоянный обмен информацией, как правило, по CAN, с другими системами автомобиля, например АКП, ABS, JB, климатической установкой. Поэтому вмешательство в работу штатного БУ двигателем с целью тюнинга (индивидуальной настройки) или перевода питания двигателя на газовое топливо может привести к фиксации «ошибок» и переходу в «аварийный режим». Разработанная фирмой ООО «Абит» система управления альтернативной топливоподачей и углами опережения зажигания позволяет избежать подобных проблем, поскольку не нарушает структуры и алгоритма управления двигателем.

Система поддерживает 2 проекта:

- M100G
- M100B.

### Назначение проектов

Проект M100G предназначен для управления исполнительными механизмами (ИМ) газобаллонного оборудования (ГБО) 4-го поколения, коррекции углов опережения зажигания (УОЗ) штатной СУД бензинового двигателя при его переводе на альтернативный вид топлива (например, метан или пропан-бутановую смесь). Управление основано на обработке информации, поступающей от датчиков ГБО и штатной СУД. Количество цилиндров двигателя — до 6.

Проект M100B предназначен для изменения топливоподачи и коррекции УОЗ бензиновых

двигателей. Управление основано на обработке информации от штатных датчиков системы управления бензиновым двигателем или дополнительно (опционально) установленных датчиков и исполнительных устройств. Количество цилиндров двигателя — до 8.

Проект M100 работает по принципу «проставки», расположенной между датчиками и штатным БУ. Проставка перехватывает необходимые сигналы датчиков штатной СУД и формирует скорректированные сигналы управления. Алгоритм работы выполнен таким образом, что штатный БУ, получая сигналы от датчиков, не реагирует на наличие проставки и продолжает работать в обычном режиме.

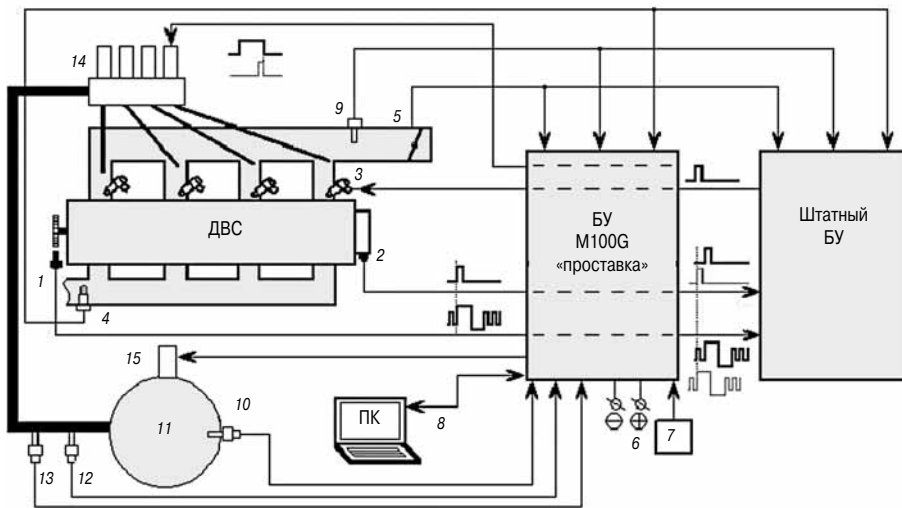
Блок управления M100G (проставка) подключается по следующей схеме (рис. 1). Сигналы, поступающие на штатный БУ от датчиков ДПКВ 1 и ДФ 2 рвутся и заводятся на проставку. Таким образом, M100G получает информацию о частоте вращения двигателя и фазе рабочего такта. Проставка формирует сигнал, аналогичный перехваченному и возвращает его на штатный БУ в неизменном или скорректированном виде. Коррекция фазы сигнала используется для управления УОЗ.

Сигнал, вырабатываемый штатным БУ для бензиновых ЭМФ 3 рвется и заводится на проставку. Таким образом, M100G получает информацию о длительности импульса. В зависимости от выбранного режима («бензин» или «газ») проставка либо формирует в неизменном виде сигнал для ЭМФ, либо корректирует сигнал по заложенным калибровкам и подает его через штатный блок управления на газовые дозаторы 14. Обычно газовые дозаторы (ГД) выпускаются с низкоомной обмоткой катушки, поэтому сигнал для них формируется с форсировкой тока и последующим удержанием током меньшей амплитуды.

### Общее описание проекта M100G

#### Подключение системы

«Проставка» подключается к бортовой сети автомобиля 6, на нее заводятся сигналы обязательных датчиков абсолютного давления в коллекторе 9, давления газа 13, температуры газа 12, температуры



**Рис. 1. Система управления двигателем при питании сжиженным газом:**

1 — датчик положения коленчатого вала (ДПКВ, датчик оборотов); 2 — датчик фаз (ДФ); 3 — электромагнитные форсунки (ЭМФ); 4 — датчик кислорода (ДК,  $\lambda$ -зонд); 5 — датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ); 6 — подключение к аккумуляторной батарее; 7 — переключатель режима «газ-бензин»; 8 — линия связи с ПК; 9 — датчик абсолютного давления (ДАД, MAP-sensor); 10 — датчик температуры редуктора; 11 — редуктор-испаритель; 12 — датчик температуры газа; 13 — датчик давления газа; 14 — блок газовых дозаторов; 15 — электромагнитный клапан

редуктора 10, переключателя режима 7 и дополнительных (опциональных) датчиков кислорода 4, положения дросселя 5. Сигналы дополнительных датчиков не влияют на работу «проставки», а выводятся для информации.

#### Работа системы

**Подвод пропана.** Независимо от положения переключателя 7, двигатель запускается всегда на бензине. Пропан в жидкой фазе через газовую трубку подается к электромагнитному клапану 15 редуктора испарителя 11. Редуктор подключен к системе охлаждения двигателя и прогревается вместе с ним. Проставка по сигналу датчика 10 оценивает температуру редуктора и по достижении порогового значения (обычно +25 ... +35 °С) открывает клапан 15. Пропан, попадая в испаритель, переходит в паровую фазу, редуктор снижает давление до рабочего (в нашем случае до 1 атм, но бывают системы и до 9 атм), и пропан через фильтр подается к рампе ГД.

#### Расчет топливopодачи

Формирование длительностей импульса для газового дозатора ГД ( $\tau_{out}$ ) производится путем умножения входящей длительности импульса для бензиновых ЭМФ ( $\tau_{in}$ ) на газовый коэффициент ( $K_{впр}$ ) с прибавлением аддитивной добавки к импульсу  $\tau_{доб}$ . По всему полю рабочих точек  $K_{впр}$  разный и может быть как увеличивающим, так и уменьшающим (1).

Основными осями для формирования длительности импульса газовых дозаторов являются частота вращения и нагрузка, причем в качестве

показателя нагрузки удобнее всего использовать величину длительности импульса, сформированного штатным бензиновым БУ для управления бензиновыми ЭМФ потому, что в этом показателе уже учтены и температура охлаждающей жидкости двигателя, и расход воздуха (или давление во впускном коллекторе), и остальные внешние факторы, влияющие на топливоподачу:

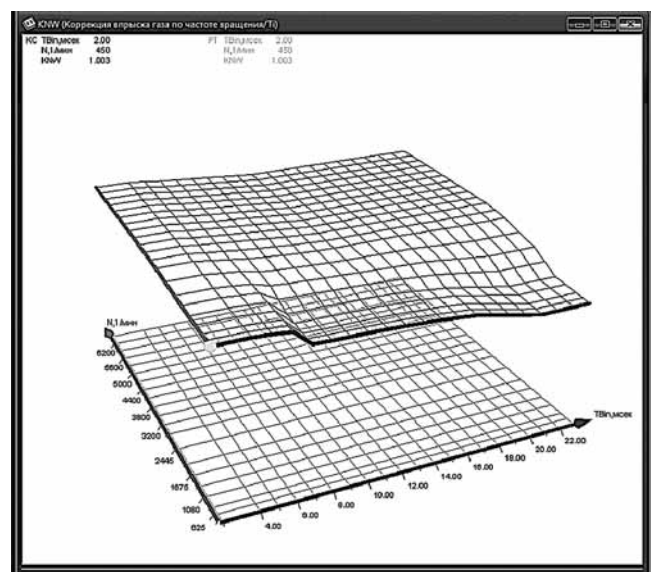
$$\tau_{out} = \tau_{in} \cdot K_{впр} + \tau_{доб}, \quad (1)$$

где  $\tau_{out}$  — скорректированная длительность сигнала управления, подаваемого на ГД, мс;  $\tau_{in}$  — длительность сигнала управления ЭМФ штатного БУ, мс;  $K_{впр}$  — коэффициент коррекции длительности сигнала управления;  $\tau_{доб}$  — суммарная добавка, мс.

Рассчитывают газовый коэффициент коррекции по формуле.

$$K_{впр} = K_{nw} \cdot K_{dp} \cdot K_t^o \cdot K_{at}, \quad (2)$$

где  $K_{nw}$  — основной коэффициент коррекции топливоподачи в координатах частота вращения/нагрузка (рис. 2 и 3);  $K_t^o$  — коэффициент коррекции топливоподачи по температуре газа;  $K_{dp}$  — коэффициент коррекции топливоподачи по перепаду давлений на газовом дозаторе;  $K_{at}$  — дополнительный коэффициент коррекции топли-



**Рис. 2. Поверхность коэффициентов коррекции  $K_{nw}$**

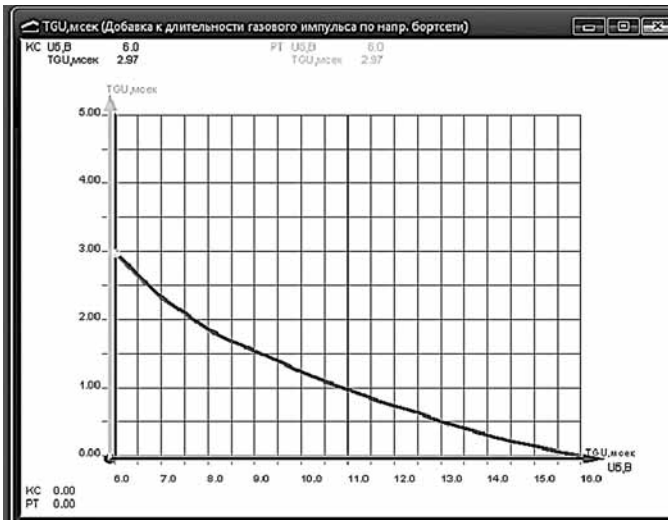


Рис. 3. Коррекция длительности открытия ГД по напряжению бортовой сети автомобиля

вподачи, предназначенный для компенсации разброса параметров разных двигателей и дозаторов. (подбирается вручную или, обычно, автокалибровкой).

Суммарная добавка рассчитывается следующим образом:

$$\tau_{\text{доб}} = \tau_6 + \tau_U,$$

где  $\tau_6$  — базовая добавка, мс. Устанавливается вручную, на практике обычно = 0;  $\tau_U$  — добавка по напряжению бортовой сети, мс — компенсирует изменения характеристик ГД при отклонении напряжения бортовой сети автомобиля от номинального значения, корректируется по графику, представленному на рис. 3.

#### Коррекция угла опережения зажигания (УОЗ)

Поскольку октановое число пропана около 105, а степень сжатия двигателя при переводе на газовое топливо обычно не изменяют, увеличение УОЗ благоприятно сказывается на работе двигателя, особенно при глубоком дросселировании (на малых нагрузках):

- снижается температура  $t^\circ$  отработавших газов и выпускных клапанов;
- увеличивается крутящий момент на валу двигателя;
- снижается удельный расход пропана.

Коррекция УОЗ и фаз газораспределения может производиться во всем диапазоне частота

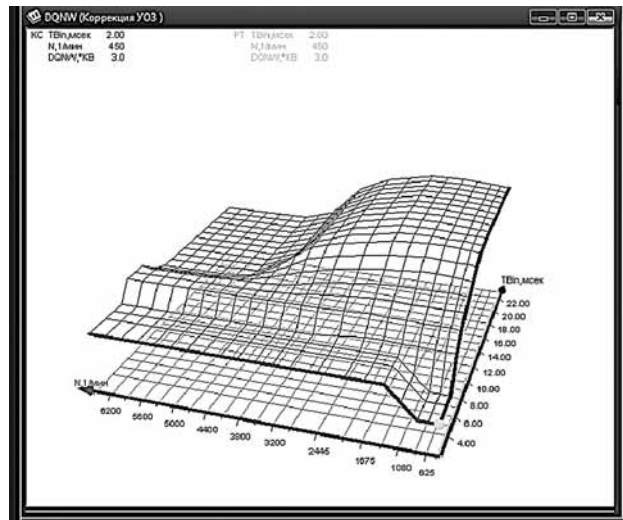


Рис. 4. Коррекция УОЗ в координатах «частота вращения/нагрузка»

вращения/нагрузка путем сдвига начала подачи сигнала синхронизации на величину  $\pm \Delta\phi$  для коленчатого и распределительного валов. При этом штатный бензиновый БУ будет работать по своим штатным калибровкам УОЗ.

$$\phi_{\text{итог}} = \phi_{\text{штатный}} \pm \Delta\phi,$$

где  $\phi_{\text{итог}}$  — итоговый УОЗ;  $\phi_{\text{штатный}}$  — УОЗ вырабатываемый штатным бензиновым БУ;  $\Delta\phi$  — коррекция УОЗ, формируемая проставкой, путем сдвига метки синхронизации.

При этом

$$\Delta\phi = \Delta\phi_6 + \Delta\phi_{nl},$$

где  $\Delta\phi_6$  — базовая коррекция УОЗ, °ПКВ (позволяет изменить всю поверхность углов опережения зажигания на фиксированную величину);  $\Delta\phi_{nl}$  — коррекция УОЗ по поверхности в координатах «частота вращения/нагрузка», °ПКВ (рис. 4).

Предложенная схема управления двигателем при переходе на питание двигателя газовым топливом позволяет не только сохранить и использовать штатную схему управления, но и вводить необходимые корректировки программы для улучшения эффективных показателей двигателя, что объективно требуется при переходе на питание газовым топливом.